

ONTOLOGIA DELL'ENTE FISICO E LIMITI DELLA CONOSCENZA  
SCIENTIFICA: UNA ANALISI FENOMENOLOGICA  
di **Alessandro Cordelli**

*Introduzione – Ontologia di una tazza di tè*

In piedi, davanti alla cucina, riempio una piccola pentola di acqua e accendo il fuoco sotto di essa; lo faccio perché voglio prepararmi una tazza di tè. Una semplice azione come quella appena descritta viene eseguita ogni giorno nel mondo milioni di volte, molte di queste in maniera meccanica, senza una esplicita consapevolezza delle cose e dei gesti. Ma anche in quei casi in cui al processo viene tributata la dovuta attenzione, ben difficilmente i pensieri di chi si sta preparando un tè saranno attraversati anche solo dal dubbio che quell'acqua, quella pentola, quel fuoco siano *realmente* acqua, pentola e fuoco, nel senso di una esistenza stabile e indipendente dalla presenza del soggetto e dalle sue relazioni con esso. Il problema non è ovviamente quello banale di escludere una sorta di "presenza apparente" dell'acqua nella pentola, ma quello assai più delicato di caratterizzarne la "presenza reale". È un dato di fatto che il mio rapporto non è con l'acqua, la pentola e il fuoco come realtà ultime (potremmo dire come *noumeni* o "cose in sé", per usare una terminologia kantiana), ma inserito in una complessa rete di relazioni fisico-chimiche che sfociano in un ente – la tazza di tè, appunto – il quale a sua volta "è" per me solo nella misura in cui riesce ad attivare una pluralità di processi fisiologici nel mio corpo che hanno la coscienza come punto finale di convergenza.

Malgrado il fatto che – dopo Kant – sia ben chiaro che l'accesso alle cose è sempre inserito nel contesto di un fenomeno e mediato da una relazione, è difficile trovare uno scienziato che non sia più o meno esplicitamente convinto dell'assoluta "realtà in sé" degli oggetti che egli studia. L'ontologia della fisica classica è sostanzialmente quella dell'esperienza quotidiana: un'ontologia *realista*, di un *realismo forte*, secondo la definizione che Bernard D'Espagnat ne dà nel suo saggio su fisica e filosofia<sup>1</sup>, in base alla quale l'osservazione accede alla realtà "così come essa è". Di fatto, la meccanica quantistica ci obbliga a ripensare questa posizione prendendo in considerazione punti di vista sulla realtà anche molto distanti da quelli del nostro ignaro uomo della strada che sta preparandosi una tazza di tè. Uno dei maggiori ostacoli in questo percorso è la difficoltà a mettere in discussione concezioni e rappresentazioni talmente basilari e radicate nell'esperienza da essere inconsapevolmente assunte come sfondo

epistemologico. In considerazione di ciò non possiamo non rilevare la fondamentale importanza per tali ricerche del metodo fenomenologico, che garantisce il porsi davanti a un dato che "è da assumere come esso si dà, ma anche soltanto nei limiti in cui si dà"<sup>2</sup>. Per questo motivo nelle pagine che seguono procederemo con estrema cautela – anche a rischio di sfiorare l'ovvietà, pur di evitare il rischio di sovrapporre una qualsiasi prospettiva interpretativa all'oggetto di studio – verso il nostro obiettivo, che è quello di individuare un metodo fruttuoso nella ricerca di una ontologia per la fisica moderna.

#### *Realismo e fisica classica*

Nei primi decenni del XX secolo avviene una rivoluzione nelle basi della fisica di portata tale da interessare anche la visione filosofica del mondo. Intendiamoci, già altre volte nella storia della scienza paradigmi accettati e consolidati erano stati abbandonati a vantaggio di nuove interpretazioni, ma quello che accade con la nascita della meccanica quantistica va ad interessare un livello epistemologico assai più profondo, che costringe in qualche misura a prendere in considerazione oltre alla questione del "come" anche quella del "che cosa".

Il mondo della fisica classica è quello dell'esperienza quotidiana, spesso i fenomeni sono gli stessi a cui si può avere accesso con i cinque sensi e negli altri casi sono comunque direttamente collegati a tale ambito. Prendiamo come esempio le oscillazioni di un pendolo: il sistema è composto da oggetti che ci sono familiari come: un filo e una pallina metallica. Conosciamo bene tali oggetti, ci siamo imbattuti molte volte in essi in contesti legati alle normali attività quotidiane che nulla hanno a che fare con l'indagine scientifica. L'ontologia di questi oggetti presi singolarmente – come pure del pendolo che da essi è composto – non crea alcun problema perché essi costituiscono il nostro mondo fin dalla prima infanzia, li conosciamo bene, stanno sullo sfondo quasi come degli "a priori" e se ipoteticamente dovessero sparire sarebbe una parte dell'intera realtà a dissolversi con essi. In altri termini, nessuno metterebbe in dubbio che il filo e la pallina esistano realmente ed esistano esattamente nel modo in cui li percepiamo. Avendo resa esplicita questa familiarità con gli elementi che lo costituiscono, procediamo nell'analisi osservando che anche il sistema-pendolo presenta delle caratteristiche che ben conosciamo. In particolare c'è un comportamento così rilevante da identificare il concetto unificante che permette di qualificare come "pendolo" una pluralità di sistemi anche abbastanza diversi tra loro: il moto che si svolge con regolarità avanti e indietro, cioè l'oscillazione. Di nuovo, abbiamo una chiara idea dell'oscillazione perché ci siamo imbattuti in essa molte volte, anche in

qualità di soggetti attivi (dondolandosi su un'altalena o passeggiando su e giù in una stanza). È solo a questo punto che la conoscenza ordinaria lascia il posto all'indagine scientifica, quando cioè si cerca di dire di più riguardo a un fenomeno che comunque nelle sue grandi linee è ben noto. La prima fase di questo percorso più approfondito consiste nello stabilire relazioni di carattere *predittivo*, si tratta cioè di riconoscere la presenza di regolarità che vengono poi espresse nel linguaggio matematico. Bisogna dunque innanzitutto individuare caratteristiche del sistema che siano quantitative, associabili cioè a un numero, la cui determinazione avviene nel processo di misura. Tali grandezze sono ad esempio la massa della pallina (determinabile mediante una bilancia), la lunghezza del filo (determinabile mediante confronto diretto con la lunghezza standard, che è il metro), il tempo necessario per una oscillazione (determinabile contando il numero di ripetizioni di un evento di riferimento, come lo scatto di una lancetta, che si verificano durante l'oscillazione). Lo scienziato esegue le misure in una pluralità di situazioni, variando l'una o l'altra delle grandezze in gioco fino a che non riesce ad esprimere in termini matematici le relazioni che sussistono tra di esse. Nel caso del pendolo tali relazioni stabiliranno ad esempio che il periodo di oscillazione non dipende dalla massa della pallina ed è proporzionale alla radice quadrata della lunghezza del filo<sup>3</sup>. Fino a questo punto la nostra teoria è puramente predittiva, ci permette cioè di calcolare la durata del periodo di oscillazione di un pendolo di cui si sa la lunghezza (o alternativamente di determinare esattamente quale deve essere la lunghezza del filo se vogliamo un periodo di oscillazione di una certa durata, una possibilità fondamentale qualora si voglia costruire un orologio), senza però indicare il motivo per cui vale proprio tale relazione; addirittura, consistendo il modello essenzialmente in una relazione matematica tra due grandezze, non è richiesto nemmeno di specificare in dettaglio la natura degli oggetti che costituiscono il sistema, purché su di essi sia possibile effettuare delle misure (tanto è vero che nei manuali di fisica capita spesso di imbattersi in esercizi in cui si chiede di calcolare le proprietà di un certo *oscillatore*, senza specificare se l'oscillatore in questione è un pendolo, una massa attaccata ad una molla, o qualche altro sistema più complicato). Come abbiamo già detto, nessuno metterebbe seriamente in discussione il fatto che il filo e la pallina esistano realmente e proprio nel modo in cui noi li percepiamo e ce li rappresentiamo; ci si aspetta quindi che una relazione tra grandezze abbia la sua ragion d'essere nelle caratteristiche degli enti coinvolti. In altri termini, il passo successivo è quello di giustificare le asserzioni predittive come conseguenze di una teoria *descrittiva*.

Una teoria descrittiva è più ambiziosa di una teoria predittiva, in quanto si propone di dire qualcosa sugli enti e le loro relazioni, su come

effettivamente sono, e non solo di fornire una serie di procedimenti matematici per stabilire in anticipo i valori che certe grandezze fisiche assumeranno sapendo quali valori assumono altre grandezze. Nel suo livello più superficiale, quando vive ancora a ridosso del confine con l'esperienza pre-scientifica, una teoria descrittiva è epistemologicamente stabile, nel senso che i concetti su cui si appoggia sono quelli del mondo quotidiano che difficilmente potranno essere messi in discussione. Tuttavia, quando si passa dalla prospettiva della ricerca di regolarità esprimibili in termini matematici a quella di descrivere i meccanismi sottostanti a tali regolarità, lo sprofondamento verso livelli sempre più elementari di realtà difficilmente potrà giungere a un termine e, come nel gioco dei perché<sup>4</sup>, si arriva ben presto a domande che ancora non hanno risposta e forse non l'avranno mai. Ad ogni livello vi sono degli enti primitivi alla base della costruzione esplicativa, ma non è detto che il successivo avanzamento della teoria li manterrà così come sono, semplicemente descrivendoli in termini di qualcosa di più fondamentale, o piuttosto li cancellerà sostituendoli con altri primitivi ad essi irriducibili. Quindi, mentre in questo senso una teoria predittiva è sempre al sicuro, possiamo dire con Paul Valéry<sup>5</sup> che le teorie descrittive – come le civiltà – sono mortali. Di fatto, ogni teoria fisica è sempre esposta al principio di falsificazione<sup>6</sup>, per cui può perdere validità di fronte ad un risultato sperimentale in contrasto con le sue previsioni. Nel caso di una teoria predittiva questa eventualità comporta semplicemente una limitazione dal campo di applicabilità della teoria stessa<sup>7</sup>, ma per una teoria descrittiva la falsificazione può portare all'abbandono della teoria stessa nonché dell'ontologia sottostante; quando ciò accade ci si trova di fronte ad una vera e propria rivoluzione scientifica<sup>8</sup>.

Consideriamo come esempio la gravità. Mentre nella fisica pre-galileiana la caduta dei gravi era spiegata come ricerca da parte dei corpi del loro luogo naturale (spiegazione che poteva anche avere una certa plausibilità nella cosmologia aristotelica in cui erano ben definiti i concetti di "alto" e "basso", ma che comunque non permetteva il calcolo di relazioni quantitative), Newton lega il fenomeno all'azione di una causa esterna, introducendo il concetto di forza. Che cos'è una forza? Newton non lo dice e, a scanso di equivoci, dichiara esplicitamente *hypotheses non fingo*, cioè rinuncio ad indagare sull'essenza della forza (considerandola un concetto primitivo) e mi limito a descriverne gli effetti, calcolando le caratteristiche del moto dei corpi a partire dalla conoscenza delle forze che su di essi agiscono. Ma cosa può impedire che quello che fino a ieri era un concetto primitivo non indagabile diventi oggi un fenomeno esso stesso, che dovrà essere fondato su altri concetti primitivi di livello ancora più fondamentale? Ad esempio, la forza sviluppata da una molla è ad un primo livello una forza di origine ignota

la cui principale caratteristica è quella di essere direttamente proporzionale alla compressione, ma quando la teoria atomica getta luce sulla struttura della materia ecco che anche la forza della molla si può spiegare in termini di legami atomici. Nel caso della gravità la situazione è più complessa. Infatti, nel passaggio dalla teoria predittiva (la teoria della gravitazione universale di Newton) a quella descrittiva (la Relatività generale di Einstein) vengono introdotte delle correzioni che sono ininfluenti per quanto riguarda quasi tutte le osservazioni sul moto dei pianeti, ma che giustificano alcune piccole incongruenze (come ad esempio una precessione di lieve entità osservabile dell'orbita di Mercurio). Dunque, gli effetti gravitazionali sul moto dei corpi calcolati nell'ambito della Relatività generale coincidono con quelli previsti dalla vecchia teoria laddove questa è in accordo con l'osservazione, mentre sono quelli corretti negli altri casi.

Malgrado questo accordo a livello predittivo, da un punto di vista ontologico le due teorie non potrebbero essere più lontane. Mentre infatti la gravità newtoniana è una forza (ancorché non descritta nella sua essenza), cioè un ente dalle caratteristiche ben definite nella fisica classica, la Relatività generale non prevede la presenza di una vera e propria forza gravitazionale: i corpi si muovono in linea retta e a velocità costante in ossequio al principio di inerzia, ma – esattamente come una linea dritta disegnata su un foglio diventa curva se si piega il foglio – così le stelle e i pianeti deformano con la loro massa lo spazio ad essi circostante in modo che altri corpi celesti che si trovano a passare per le vicinanze siano costretti a seguire le linee curve delle orbite, pur continuando in un certo senso ad andare a dritto in quello che a tutti gli effetti è uno spazio curvo. Naturalmente tutto ciò non ha comportato l'abbandono della teoria newtoniana della gravitazione negli ambiti in cui essa era in accordo con l'osservazione: nessun astronomo utilizza il pesante formalismo della Relatività generale per calcolare le orbite dei pianeti nel sistema solare o le traiettorie dei numerosi satelliti che si muovono intorno alla Terra. Di contro, la teoria di Einstein diventa indispensabile quando si vogliano studiare oggetti estremi come i buchi neri o l'evoluzione dell'universo su grande scala. Indipendentemente però dall'ambito di applicazione, l'avvento della Relatività generale ha causato l'inesorabile abbandono dell'ontologia della teoria newtoniana della gravitazione.

Di simili cambiamenti radicali di prospettiva è piena la storia della fisica. Ad esempio la prima spiegazione moderna dei fenomeni termici era basata su una vera e propria sostanza materiale, il *flogisto*, responsabile delle variazioni di temperatura dei corpi; fu Lavoisier ad accorgersi, in seguito ad accurate misurazioni sulla combustione, che in tale processo non si ha variazione di massa tra lo stato iniziale e quello finale, cosicché responsabile

dei processi termici non poteva essere la materia ordinaria, ma un non meglio identificato *fluido calorico*, privo di massa e di qualsiasi altra proprietà fisica che non sia la facoltà di trasportare calore. Ben presto però anche il fluido calorico venne soppiantato dalla concezione ancora oggi comunemente accettata per cui il calore si identifica con l'energia dei moti disordinati delle molecole che costituiscono i corpi. Un altro esempio riguarda la natura della luce, che per tutto il XVIII secolo venne considerata composta di particelle, ma di cui venne riconosciuto il carattere ondulatorio in seguito al celebre esperimento dell'interferenza da una doppia fenditura realizzato dall'inglese Thomas Young nel 1801.

È comunque un dato di fatto che nessuna di tali rivoluzioni lascia vacante il ruolo di ente primitivo fondante a livello esplicativo; eventualmente si tratta di riconoscere la fallacia di un modello per sostituirlo con un altro che descrive il mondo "come realmente è". In altri termini, finché rimaniamo nella fisica classica il realismo non viene messo in discussione. Il percorso della fisica nei secoli XVII, XVIII e XIX è stato caratterizzato da un andamento basato su teorie descrittive indiscutibilmente realiste fondate su enti sempre più elementari e sempre più lontani dall'esperienza quotidiana, fino a che, con una memoria<sup>9</sup> presentata da Max Planck alla società tedesca di fisica nel dicembre dell'anno 1900, si aprì un sorprendente e inedito scenario per le basi del pensiero scientifico.

30

---

#### *La meccanica quantistica: realismo e antirealismo*

Già le pionieristiche ricerche di Avogadro e Dalton in chimica avevano dato chiare indicazioni del fatto che la materia è composta da corpuscoli estremamente piccoli: gli atomi. Nel corso dell'800 molte cose erano state scoperte sugli atomi (ad esempio che si tratta di oggetti elettricamente neutri composti però da corpi ancora più elementari dotati di carica elettrica), la maggior parte delle quali coerentemente inquadrabili in opportuni modelli sviluppati sulla base delle leggi note. Alcuni esperimenti rappresentavano però un vero enigma: erano infatti in aperta contraddizione con la meccanica e l'elettromagnetismo, come se quelle leggi che tanto bene funzionano per spiegare l'orbita della luna o la forza esercitata da una calamita su un chiodo di ferro perdessero la loro validità quando il sistema a cui sono applicate diviene piccolo come un atomo. Dopo una serie di infruttuosi tentativi di inquadrare i nuovi dati sperimentali nelle vecchie teorie venne inaugurata una nuova meccanica, valida alla scala microscopica e basata su principi differenti e inconciliabili con quelli della fisica classica. Sono molti i punti di distacco, ma soprattutto vi è il fatto che la nuova fisica contiene al suo interno l'indeterminazione in maniera sostanziale e non come fatto accidentale. In altri termini, mentre nella fisica classica vi è sempre la

possibilità in linea di principio di acquisire qualsiasi informazione su un sistema a un arbitrario livello di accuratezza, la meccanica quantistica prevede un vero e proprio principio di indeterminazione<sup>10</sup> in base al quale vi è un limite teorico alla quantità e alla qualità dell'informazione che possiamo misurare o calcolare. Operativamente ciò si concretizza nel fatto che, mentre la teoria classica è in grado di fornire la previsione del risultato di una misura avendo specificato opportunamente le condizioni iniziali del sistema in esame, la teoria quantistica permette di calcolare solo la probabilità che la misura abbia questo o quel risultato. Ora, dire che ad esempio la probabilità di ottenere testa nel lancio di una moneta è il 50% esprime una misura della nostra ignoranza e non un aspetto sostanziale della realtà (la moneta è infatti un oggetto classico e quindi governato da leggi perfettamente deterministiche, solo che per prevedere su quale faccia atterrerà dovremmo conoscere con precisione una serie di parametri relativi alla spinta del dito, le correnti d'aria, ecc... e applicare equazioni assai complesse, ciò che nella pratica è irrealizzabile); possiamo dire la stessa cosa per la probabilità della teoria quantistica, o in quel caso si tratta di qualcosa che riguarda il sistema e non la conoscenza che abbiamo di esso? E ancora, la probabilità che lo strumento rilevi – ad esempio – un elettrone in un certo punto dello spazio coincide con la probabilità che realmente un vi sia elettrone in quel punto? Questi sono alcuni degli interrogativi che sorgono quando si cerca di dare una interpretazione alle leggi quantistiche.

Osserviamo che l'indeterminazione, aspetto basilare nella teoria quantistica, non può verificarsi nell'ambito della fisica classica. Infatti, indipendentemente dal fatto che venga eseguita una misura o meno, una grandezza macroscopica è comunque accessibile all'esperienza e come tale è sempre ben definita. Prendiamo ad esempio il volo di una pallina da tennis: come si potrebbe affermare che la sua posizione e la sua velocità non sono determinate in ogni istante? Per gli oggetti del mondo microscopico, ai quali si applicano le leggi quantistiche, la situazione è invece radicalmente diversa. Essi non sono in alcun modo accessibili alla percezione, non hanno niente a che vedere con le cose che maneggiamo ogni giorno e se venissero meno nessuna parte del nostro mondo di esperienze ne risulterebbe intaccata. Non solo non possiamo seguire il volo di un elettrone allo stesso modo di quello di una pallina da tennis, ma neanche si può avere accesso a nessuno dei parametri che lo caratterizzano se non attraverso l'intermediazione di un opportuno strumento di misura, che è comunque un qualcosa di appartenente al mondo macroscopico. E questo è vero anche per quel che riguarda le tecnologie più raffinate. Se infatti conquiste tecnologiche estremamente diffuse, come il LASER o l'energia nucleare, sono basate sui principi quantistici, nondimeno l'esperienza umana si confronta sempre con

effetti che hanno luogo alla scala macroscopica. Come caso estremo di tali problematiche consideriamo il microscopio elettronico a scansione, del quale si sente dire spesso che permette di vedere gli atomi<sup>11</sup>. Ora, nell'immagine di una superficie metallica ottenuta con questa tecnologia effettivamente rileviamo delle parti sferiche disposte con la simmetria che ci aspettiamo per quel metallo, ma questo non vuol dire che stiamo vedendo gli atomi. "Vedere" significa infatti un particolare atto percettivo nel quale l'apparato visivo viene attivato dalla radiazione elettromagnetica che aveva prima interagito col sistema fisico che viene visto. Nel microscopio elettronico l'interazione avviene tra la superficie sotto osservazione e una finissima punta che le passa sopra a una distanza dell'ordine del milionesimo di millimetro; a partire dai segnali elettrici generati al passaggio della punta, un complesso sistema di elaborazione ricostruisce (sulla base di un modello teorico del fenomeno) un'immagine che viene poi presentata sullo schermo di un computer.

Tutto ciò per ribadire un punto fondamentale: degli oggetti di cui si occupa la meccanica quantistica possiamo avere esperienza solo attraverso strumenti di misura, che sono però invariabilmente sistemi che appartengono al mondo macroscopico. Dunque, tornando a un esempio visto sopra, mentre le leggi della fisica newtoniana ci dicono dove andrà a cadere una pallina da tennis, quale traiettoria seguirà durante il suo volo e con quale velocità, la stessa cosa non vale se il volo a cui siamo interessati è quello di un elettrone, per il quale le leggi quantistiche ci possono dare informazione solo riguardo alla sua rilevazione da un apparato di misura alla fine della corsa. Inoltre questa informazione – lo ripetiamo – ha un carattere radicalmente diverso da quella che si ottiene nell'ambito della meccanica classica, in quanto, mentre per la pallina da tennis è possibile prevedere con una accuratezza arbitraria dove terminerà il suo volo, nel caso dell'elettrone possiamo calcolare solo la probabilità che venga rilevato in questo o quel punto. Oltre all'indebolimento del potere predittivo della teoria, l'indeterminazione ha anche altre conseguenze che stridono con l'usuale rappresentazione della realtà: l'ente quantistico non è chiaramente identificabile né come onda né come particella, ma si comporta nell'uno o nell'altro modo a seconda della specifica situazione sperimentale; l'ente quantistico non ha una definita localizzazione spaziale, ma eventi in punti distanti possono influenzarsi istantaneamente come se lì vi fosse un unico oggetto elementare; l'ente quantistico non è teoricamente distinguibile da altri enti identici per cui può avvenire che perda la propria individualità (ad esempio possiamo dire che in un nucleo di carbonio sono presenti sei protoni ma non possiamo individuare il primo, il secondo... il sesto di tali protoni come invece sarebbe possibile in un insieme di sei oggetti macroscopici). È



chiaro quindi come sia altamente problematico cercare una chiave descrittiva per la meccanica quantistica.

Di fronte a queste difficoltà vi è una pluralità di atteggiamenti. Molti scienziati non riescono ad apprezzare la problematica e inconsapevolmente adottano una prospettiva realista, mettendo gli oggetti del loro studio sul medesimo piano degli enti dell'esperienza quotidiana (solo con proprietà un po' più esotiche), per cui dire "l'elettrone si trova in quel punto" non è una convenzionale semplificazione di "lo strumento ha rilevato un elettrone in quel punto", ma significa esattamente che quella regione dello spazio è occupata da un oggetto con caratteristiche tali che ci autorizzano a chiamarlo "elettrone", ed è per questo motivo che lo strumento ha dato una segnalazione. Vi sono anche scienziati che consapevolmente adottano la prospettiva realista avendo ben presente il fatto che tale prospettiva non è compatibile con le interpretazioni canoniche della meccanica quantistica e si rivolgono quindi ad interpretazioni alternative che però risultano assai problematiche. Vi sono infine scienziati (e filosofi) che accettano la possibilità di un allentamento del realismo e di fronte alle stranezze quantistiche non trovano inaccettabile l'idea che l'ontologia basata sulla comune esperienza abbia una validità limitata e che oggetti microscopici come atomi o particelle possano addirittura non esistere (o comunque non esistere nel modo in cui riusciamo a concepirli) al di fuori del processo di misura; ci sembra a tal proposito particolarmente significativa la seguente posizione di Heisenberg, il quale giunge ad identificare la realtà degli oggetti elementari con la loro struttura matematica:

Come i solidi regolari elementari della filosofia di Platone, le particelle elementari della fisica moderna sono definite dalle condizioni matematiche di simmetria: esse non sono né eterne né invariabili e sono perciò ben difficilmente ciò che può essere chiamato «reale» nel vero senso della parola. Piuttosto, esse sono semplici rappresentazioni di quelle fondamentali strutture matematiche cui si giunge nel tentativo di continuare a suddividere la materia<sup>12</sup>.

Il più significativo (e infruttuoso) tentativo recuperare il realismo nella meccanica quantistica è dovuto ad Einstein, il quale individuò una ipotetica situazione<sup>13</sup> nella quale un indeterminismo sostanziale avrebbe comportato conseguenze inaccettabili. Consideriamo infatti due particelle elementari prodotte in modo che le proprietà dell'una siano correlate alle proprietà dell'altra. Utilizzando la metafora dei colori, potremmo supporre di avere due particelle che possono essere o bianche o nere e che siano prodotte dal

decadimento di un oggetto grigio, cosicché se la prima è bianca la seconda dovrà necessariamente essere nera e viceversa. In tal modo, quando eseguiamo una misura su una delle due particelle automaticamente acquisiamo informazione anche sulla seconda, che nel frattempo può essersi anche molto allontanata dalla prima. Ora – sostiene Einstein – se l'indeterminazione quantistica fosse una caratteristica della realtà piuttosto che una conseguenza della nostra incompleta conoscenza, la prima particella assumerebbe un colore definito (bianco o nero) solo al momento e per causa della misura, ma nello stesso istante anche la seconda particella sarebbe forzata ad assumere un colore determinato (e precisamente il colore diverso da quello misurato sulla prima particella), come se l'azione della misura avesse fatto sentire i suoi effetti in maniera quasi magica su un oggetto distante, senza che vi sia stato alcun intervento diretto su di esso; uno stato di cose che Einstein considerava inaccettabile e contrario al più elementare buon senso. Suggerisce dunque Einstein che il colore delle due particelle sia ben definito fin dalla loro produzione nel decadimento, ma che sia inaccessibile alla nostra conoscenza in quanto determinato da “variabili nascoste”, non contemplate dalla meccanica quantistica, che viene quindi considerata una teoria ancora incompleta e destinata ad essere superata prima o poi da una teoria più generale in grado di recuperare anche su scala atomica il determinismo della fisica classica. In contrasto con la posizione di Einstein troviamo l'antirealismo della scuola di Copenhagen (sostenuto da Niels Bohr e dal gruppo di fisici che intorno a lui si riunirono all'università di Copenhagen), in base alla quale le “stranezze” quantistiche si hanno solo se ci si accanisce a tentare di descrivere la dinamica degli oggetti elementari tra una misura e l'altra come se questi avessero un'esistenza indipendente, mentre è solo il processo di misura (che avviene su scala macroscopica) ad avere pieno diritto di essere chiamato reale. Il dibattito tra i fautori delle variabili nascoste e i seguaci della scuola di Copenhagen rimase per molto tempo una discussione puramente accademica, fino a che non vennero evidenziate alcune conseguenze del paradosso suscettibili di verifica sperimentale<sup>14</sup>. Dopo qualche tempo l'esperimento venne effettivamente realizzato<sup>15</sup> e fu evidente che Einstein aveva torto e che la natura è inequivocabilmente indeterministica al suo livello più fondamentale.

Riassumendo: mentre nel fenomeno macroscopico lo scienziato ha comunque un accesso al sistema indipendente dagli strumenti di misura grazie alla semplice percezione sensoriale (e pertanto non sembra esservi alcun motivo per mettere in dubbio la realtà del sistema stesso), su scala atomica è solo attraverso lo strumento di misura che è possibile ottenere l'informazione. Tra la produzione di una particella e la sua rilevazione vi è la fase della propagazione, completamente inaccessibile a qualsiasi indagine

anche in linea di principio e quindi indeterminata. Una visione ingenuamente realista sposta l'indeterminazione dagli oggetti ma alla nostra conoscenza, in modo che una ipotetica teoria più completa della meccanica quantistica sarebbe in grado di fornire quelle risposte che al momento non sono accessibili; questa visione ha però delle conseguenze ben precise che possono essere verificate sperimentalmente e che le osservazioni hanno escluso in maniera molto chiara.

#### *Uomo, conoscenza, ontologia*

Nelle pagine precedenti abbiamo passato in rassegna le due interpretazioni della meccanica quantistica più polarizzate sul versante del realismo (variabili nascoste) e dell'antirealismo (scuola di Copenhagen). Di fatto però, esiste un pluralità di proposte interpretative, nessuna delle quali – a più di un secolo dalla nascita della fisica quantistica – ha ricevuto un riconoscimento unanime. Non vogliamo in questa sede entrare nel dettaglio delle varie interpretazioni<sup>16</sup>, tuttavia riteniamo opportuno porre l'accento su alcuni punti utili per la riflessione, e intendiamo farlo da una prospettiva fenomenologica.

Come abbiamo già detto, nell'ambito microscopico il soggetto non ha modo di accedere direttamente al sistema fisico ma può farlo solo attraverso un apparato di misura che amplifica l'evento elementare riportandolo all'interno di una codifica, che è sempre basata su una costruzione teorica. Per alcuni scienziati è inconcepibile che i loro strumenti possano non essere delle lenti assolutamente trasparenti e fedeli che non fanno altro che ingrandire fino a scala umana ciò che avviene al livello degli atomi. Altri invece si rendono conto che osservare la risposta di uno strumento è cosa ben diversa dall'accedere all'evento che ha attivato tale risposta. Capita spesso che uno studente di fisica che entra le prime volte in laboratorio rimanga un po' disorientato quando gli viene "mostrato", ad esempio, un elettrone. Egli – in base all'iconografia dei libri di testo – si aspetterebbe una cosa che possa essere messa in qualche modo in relazione con minuscole palline che ruotano vorticosamente intorno al nucleo atomico, e invece si trova di fronte a un profilo a punta sullo schermo di un oscilloscopio.

Per questo motivo forse è corretto riconoscere che nell'ambito quantistico il "fenomeno" di fronte al quale porsi in atteggiamento di assoluta apertura, non è tanto l'evento fisico, quanto piuttosto l'atto di conoscenza. La possibilità di una completa oggettivazione della natura nell'indagine scientifica, è un pregiudizio epistemologico caduto insieme alla fisica classica, ma ancora duro a morire nel comune sentire delle comunità di ricerca. In altri termini, la scienza è un'attività eminentemente umana e,

prendendo in esame le teorie e le loro interpretazioni, dobbiamo considerare l'atto di indagine non come un accesso oggettivo al sistema fisico, ma come un processo in cui ricercatore ed evento rappresentano elementi nella costruzione della conoscenza.

Si badi bene che ciò non significa cadere nel convenzionalismo riguardo alla scienza<sup>17</sup>, ma piuttosto trarre – con atteggiamento genuinamente fenomenologico – tutte le conseguenze del fatto che la realtà in cui viviamo non è in linea di principio separabile. Nell'indagine scientifica operiamo sempre delle astrazioni isolando i sistemi dai contesti in cui sono immersi, concentrando l'attenzione su particolari aspetti e parametri e trascurando completamente altri. Questa strada, inaugurata da Galileo, si è rivelata di estrema efficacia ma – come hanno evidenziato specialmente le acquisizioni dell'ultimo mezzo secolo – si tratta appunto solo di una astrazione, dato che nei sistemi reali anche una perturbazione infinitesima può dare origine a una catena di conseguenze che giungono a modificare radicalmente la stabilità del sistema. Se dunque parti diverse della realtà materiale si condizionano sempre in maniera essenziale, chi ci autorizza ad escludere l'essere umano, che in quanto sperimentatore è manifestazione di materialità, dal gioco delle influenze reciproche? E l'atto stesso di conoscenza non si innesta forse su una base di linguaggio, valori, concezioni dipendenti in buona parte dalle contingenze storico-culturali, la quale è in grado di colorare un dato grezzo di esperienza altrimenti incomprensibile?

#### *Spazi di possibilità e ontologia fluida*

Il prendere atto che l'osservatore sia inestricabilmente coinvolto nei fenomeni studiati è un punto di partenza dal quale è possibile incamminarsi su più di un sentiero epistemologico. Si ripropone infatti l'annoso dibattito tra realismo e razionalismo, che però, in una prospettiva che tenga conto delle acquisizioni della nuova fisica, potrebbe risolversi non con il prevalere di una delle due posizioni sull'altra, ma con il superamento dialettico di entrambe. Se infatti il riconoscimento della partecipazione attiva dello sperimentatore al fenomeno (in termini sia di intervento materiale nella misura che di sfondo epistemologico in cui inserire il dato grezzo) sembra farci ricadere in una visione kantiana, bisogna tuttavia considerare anche l'eventualità che quella conoscenza, che avvertiamo come incompleta e indeterminata, possa veramente ritrarre l'autentico volto della realtà.

È plausibile considerare gli oggetti microscopici come “cose in sé”? Figlio di un contesto scientifico-culturale segnato dal trionfo del determinismo, il noumeno è rigido, determinato nella sua splendida solitudine, ma inaccessibile. Questa visione si riflette bene nell'ipotesi delle variabili nascoste (ferma restando l'importante differenza che, mentre nella

dottrina kantiana il limite della conoscenza è strutturale e invalicabile, nella teoria delle variabili nascoste tale limite è contingente e superabile qualora venisse sviluppata una teoria più completa della meccanica quantistica): gli oggetti microscopici sono ben determinati tanto quanto quelli classici, la meccanica quantistica è però una teoria incompleta, cosicché non vi è modo per l'uomo di espandere la sua conoscenza fino a un livello di massima completezza. L'interpretazione della scuola di Copenhagen sembra invece suggerire un differente stato di cose: alcune domande sono destinate a rimanere senza risposta perché proprio così è la realtà, perché tali domande non hanno senso se non in modelli astratti basati sull'ingiustificata estensione di un limitato ambito di esperienza, per cui ostinarsi su tale strada può solo portare errore e frustrazione. Ora, fin dai primi filosofi greci la struttura dell'Essere è stata sempre oggetto di studio, ma nella seconda metà del secolo scorso ci si è trovati di fronte ad una situazione inedita: per la prima volta nella storia una esperienza di laboratorio ha avuto ricadute importanti sul dibattito filosofico. Come abbiamo visto, infatti, l'ipotesi delle variabili nascoste comporta precise conseguenze sperimentali che non sono state osservate. È la natura stessa quindi a dirci che l'indeterminazione non è sul versante della conoscenza ma su quello dell'oggetto, e la realtà del livello microscopico è effettivamente come a noi si mostra.

L'ontologia che possiamo ipotizzare sulla base di queste osservazioni non è rigida, costituita da noumeni perfettamente stabili e determinati ma inaccessibili alla conoscenza. Il fenomeno quantistico nella sua nuda datità suggerisce piuttosto una *ontologia fluida*, fatta di *spazi di possibilità*, ricchi di Essere, in cui le determinazioni sono acquisite a seguito della concreta situazione che viene attualizzata. A questo livello della realtà materiale è l'ente che viene messo in ombra per lasciare spazio alla relazione, una relazione che investe sì l'ambito microscopico, ma riguarda anche lo strumento di misura e il soggetto conoscente. Per comodità possiamo ancora parlare di una realtà microscopica fatta di "cose", ma il darsi di queste cose rimanda invariabilmente ad altre cose, macroscopiche, costruite dall'uomo secondo i principi di teorie che presuppongono quegli stessi invisibili oggetti che devono rilevare. Ciò che alla fine si manifesta sono le complesse correlazioni tra le risposte dei vari strumenti. E tuttavia sarebbe un arbitrio liquidare il livello microscopico come inesistente in quanto invisibile, allo stesso modo che estendere ad esso le rappresentazioni della meccanica classica. Quando infatti si riconosce una azione causale, non si può poi negare l'effettiva esistenza all'agente responsabile di tale azione, pena la perdita di intelligibilità del reale. Di fronte all'evento elementare è saggio che il soggetto chini il capo riconoscendo l'esistenza evidente ed efficace di una realtà non completamente determinata, se determinato vuol

dire poter essere incluso negli schemi di significato del mondo dell'uomo, ma che in sé possiede la perfetta capacità di sostenere causalmente livelli "superiori" di realtà, accessibili all'esperienza e – quelli sì – inquadrabili nelle categorie interpretative umane. Altri atteggiamenti sono dettati da una certa arroganza razionalista che caratterizza molti aspetti della scienza moderna e che mette il pensiero davanti all'Essere; per cui o ciò che non è spiegabile – cioè calcolabile – viene violentato per ricondurlo in ogni modo entro le categorie interpretative accettate (variabili nascoste), o addirittura si arriva a negargli una reale esistenza, nella convinzione che sia inconcepibile che qualcosa possa non ricadere nelle maglie della rappresentazione (interpretazione della scuola di Copenhagen).

#### *Gli inconoscibili*

L'assunto che l'unica conoscenza valida sia quella basata sui metodi del canone galileiano è spesso considerato come uno dei tratti distintivi della modernità, ma in realtà è solo un punto di vista parziale e discutibile, nato dal neopositivismo e a volte indicato con il termine "scientismo". L'atteggiamento fenomenologico è da questo punto di vista immune dalle patologie nascoste nei pregiudizi epistemologici, che invariabilmente si manifestano quando l'attenzione viene rivolta a situazioni atipiche o comunque di confine. Di fatto, nell'ambito dell'esperienza umana (diretta o indiretta) possiamo rinvenire almeno tre realtà sommamente evidenti e totalmente inaccessibili a una conoscenza di tipo scientifico (nel senso canonico e più restrittivo del termine) e per le quali sia il tentativo di inclusione forzata entro modelli sviluppati per ambiti differenti che quello di negarne l'esistenza appaiono palesemente assurdi. La prima di tali realtà, partendo dalla più "materiale" delle tre, è l'universo considerato come un tutto. Qualsiasi indagine fisica richiede infatti una procedura (almeno in linea di principio) per eseguire delle misurazioni. Ora, misurare/rilevare un sistema significa farlo interagire con un apparato che risulta in qualche modo influenzato dal sistema. Nel caso dell'universo però non vi può essere alcuno strumento di misura, dato che per definizione l'universo è la totalità degli enti materiali. Non è possibile creare tra l'osservatore e il fenomeno la distanza necessaria all'osservazione, per il semplice fatto che qualsiasi osservatore è parte del sistema da studiare; non vi è quindi operativamente alcun modo per rilevare l'universo come tale, ma solo parti di esso. Possiamo naturalmente inferire la sua esistenza dal fatto che qualche cosa esiste ed è quindi pensabile una totalità di cui questo qualche cosa fa parte. Possiamo inoltre formulare ipotesi, suscettibili di verifiche parziali del tipo: "se l'universo – del quale possiamo farci un modello ma al quale non possiamo accedere direttamente – avesse questa e questa caratteristica, allora certi suoi

sottosistemi dovrebbero esibire questi comportamenti osservabili". Questo è il motivo per cui quelle cosmologiche hanno più le caratteristiche di modelli matematici che di teorie fisiche.

La seconda realtà inaccessibile all'ordinaria indagine scientifica è la coscienza umana. Anche in questo caso il problema sta nell'impossibilità di una separazione tra soggetto conoscente e oggetto indagato; nel caso della coscienza questa separazione non può aversi in quanto l'oggetto dell'indagine è il nucleo stesso della soggettività. L'approccio scientifico tradizionale a questo problema si rivolge necessariamente all'unico appiglio di oggettività del fenomeno, cioè i correlati neurali dell'attività cosciente, ma in questo modo si può giungere fino a negare la reale esistenza di una coscienza soggettiva<sup>18</sup>. Di fatto si crea così una pericolosa confusione tra i significati e la loro rappresentazione in un particolare contesto (il cervello umano), ma soprattutto si perde di vista l'evidenza della soggettività, che può essere – senza eccezioni – testimoniata da qualunque essere umano.

Infine, la terza realtà che prendiamo in considerazione è il Principio Creatore. Seguendo una argomentazione risalente alle prime due delle cinque vie di Tommaso d'Aquino, ma che mantiene intatta la sua validità anche nella scienza moderna, riconosciamo che la catena della causalità richiede un fondamento ontologico non materiale. L'immaterialità e l'assoluta trascendenza di tale principio ne costituiscono il carattere distintivo; se infatti il suo piano di esistenza intersecasse quello dell'universo, si creerebbe un problema logico sulla sua origine. Chiaramente, ciò che per sua stessa definizione è completamente esterno all'ordine materiale, sfugge a qualsiasi possibilità di indagine della scienza positiva e quindi, nella prospettiva scienziata in cui essa sia l'unica forma valida di conoscenza, non può esistere<sup>19</sup>. In questo modo rimane però insoluto il problema della necessità logica dell'esistenza di tale principio. Non volendo uscire dai ristretti binari del positivismo l'unico atteggiamento possibile è la rinuncia ad affrontarlo. Se però si ammette una pluralità di forme di conoscenza (conoscenza intuitiva, mistica, religiosa...) che possono coesistere e cooperare a formare la complessità del mondo dell'uomo<sup>20</sup>, ecco che anche su questioni del genere si può utilmente dire qualcosa.

### *Conclusioni*

Gli atti di esperienza dell'uomo si svolgono alla scala umana, e questo è tautologico. Qualsiasi tentativo di spingersi oltre comporta l'utilizzo di strumenti di misura costruiti sulla base di una teoria, fatti per rispondere a domande poste a monte. Non può esservi alcun "porsi di fronte" al mondo microscopico, intuendo dapprima i caratteri essenziali del fenomeno ed elaborando successivamente modelli e teorie. C'è quindi una essenziale

asimmetria epistemologica tra la meccanica classica e lo studio del mondo microscopico; voler inserire nella stessa cornice metodologica i due ambiti è forse la causa principale del fatto che, sebbene le leggi quantistiche permettano di calcolare con esattezza gli esiti degli esperimenti di fisica atomica e subatomica, manchi una interpretazione chiara e universalmente condivisa della teoria.

Possiamo accontentarci di fare previsioni accurate oppure cercare di spiegare la realtà, ma seguendo questa seconda strada è essenziale prendere consapevolezza del fatto che le nostre rappresentazioni non sono estendibili oltre l'ambito nel quale si formano in seguito alle esperienze, e che l'ampiezza dell'Essere non si lascia misurare facilmente dalle parole o dalle immagini che l'uomo riesce a concepire. Nel percorso che porta al fondamento gli enti che via via incontriamo hanno sempre meno le caratteristiche che ci sono familiari e che costituiscono il nostro universo esperienziale, fino ad arrivare alla soglia dell'ineffabilità, riuscendo tuttavia a sostenere con assoluta incontraddittorietà i piani di esistenza superiori. È quanto suggerisce una osservazione veramente profonda e libera della realtà, la quale potrebbe rivelare – almeno in linea teorica – dei principi fondanti che vadano ben oltre le leggi per la descrizione di particolari classi di fenomeni e giungano a caratterizzare una visione globale dell'universo in cui viviamo.

<sup>1</sup> B. D'ESPAGNAT *On Physics and Philosophy*, Princeton University Press, Princeton 2006.

<sup>2</sup> E. HUSSERL, *Idee per una fenomenologia pura e una filosofia fenomenologica*, trad. it. di E. Filippini, Einaudi, Torino 1965.

<sup>3</sup> M. GOVONI, A. CORDELLI, *Fisica*, v. I, Atlas, Bergamo 2006, p. 369.

<sup>4</sup> A. CORDELLI, D. DANTI, *Il gioco dei perché*, ETS, Pisa 2010.

<sup>5</sup> Citato in B. D'ESPAGNAT, op. cit., 158.

<sup>6</sup> K. POPPER, *La logica della scoperta scientifica*, Einaudi, Torino 1970.

<sup>7</sup> Ad esempio la teoria della relatività speciale non ha cancellato le regole della "ecchia" cinematica galileiana, ma semplicemente ha reso evidente il fatto che tali regole valgono solo quando le velocità in gioco sono piccole rispetto a quella della luce.

<sup>8</sup> T. S. KUHN, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Einaudi, Torino 1969.

<sup>9</sup> M. PLANCK, "Über das Gesetz der Energieverteilung in Normalspektrum", in *Annalen der Physik*, 4 (1901) 553.

<sup>10</sup> W. HEISENBERG, *I principi fisici della teoria dei quanti*, Boringhieri, Torino 1976.

<sup>11</sup> In rete si possono trovare molte immagini ottenute con la microscopia elettronica a scansione; si veda ad esempio il sito dell'*International Scanning Probe Microscopy Image Contest*, all'indirizzo: <http://www.icmm.csic.es/spmage/>.

<sup>12</sup> W. HEISENBERG, M. BORN, E. SCHRÖDINGER, P. AUGER, *Discussione sulla fisica moderna*, Einaudi, Torino 1959, p. 19.

<sup>13</sup> A. EINSTEIN, B. PODOLSKY, N. ROSEN, in *Phys. Rev.* 47 (1935) 777.



- <sup>14</sup> J. S. BELL, "On the Einstein-Podolsky-Rosen paradox" in *Physics* 1 (1964) 195.
- <sup>15</sup> A. ASPECT, P. GRANGIER, G. ROGER, "Experimental realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm Gedanken Experiment", in *Phys. Rev. Lett.* 49 (1982) 91.
- <sup>16</sup> Una rassegna completa e molto chiara la si può trovare in: R. PENROSE, *The road to reality. A complete guide to the laws of the Universe*, Knopf, New York 2005, cap. 29.
- <sup>17</sup> E. AGAZZI, "Convenzioni e convenzionalismo nelle scienze", in *Il fare della scienza. I fondamenti e le palafitte*, Il poligrafo, Pdova 1997, pp. 169-180.
- <sup>18</sup> S. BLACKMORE, *Coscienza*, Edizioni Codice, Torino 2007.
- <sup>19</sup> S. M. CARROLL, "Why (Almost All) Cosmologists are Atheists", prepared for *God and Physical Cosmology: Russian-Anglo American Conference on Cosmolgy and Theology*, Notre Dame, January/February 2003; scaricabile da internet all'indirizzo: <http://www.preposterousuniverse.com/writings/nd-paper/>.
- <sup>20</sup> A. CORDELLI, "Complessità e mondo dell'uomo" in *Dialegesthai. Rivista telematica di filosofia*, anno 8 (2006), disponibile su World Wide Web: <http://mondodomani.org/dialegesthai/aco01.htm>.